서로 다른 공간해상도의 두 계층 영상신호원들을 위한 대역할당방법

권 순 각[†]

요 약

본 논문에서는 서로 다른 공간해상도를 갖는 두계층 영상부호화에서 영상신호원들간 효율적인 대역할당 방법을 제안한다. 먼저, MPEG-2 공간계층적 부호화구조에서 부호화율-왜곡의 관계를 찾는다. 그리고나서, 근사화된 모델변수들을 사용하여 각 계층간의 왜곡의 비율을 일정하게 유지시키고, 영상 사이에는 균등한 화질을 제공하는 부호화율 제어방법을 제안한다. 모의실험을 바탕으로 기존 방법에 비해서 제안된 부호화율 제어방법이 사용자 요구조건을 만족시켜줌을 보인다.

Bandwidth Allocation for Multiple Two-layer Video Sources of Different Spatial Resolution

Soon-kak Kwon[†]

ABSTRACT

This paper presents an efficient bandwidth allocation method for multiple sources in the two-layer video coding of different spatial resolution. We first investigate the model of bitrate-distortion in the MPEG-2 spatial scalable coding. By using approximated model parameters, then we propose an efficient bitrate control method in order to keep the same distortion level among coders and the constant quality ratio between layers. Simulation results show that the proposed method can satisfy the user requirement in comparison to the conventional method.

1. 서 론

MPEG의 영상 압축기법[1,2]으로 인해 기존의 전송 매체를 통하여 영상 신호의 전송이 가능하게 되었다. 위성방송, 지상방송, 케이블 방송 채널 환경에서는 요구되는 영상신호의 해상도와 화질에 의존하여 한 채널당 여러개의 압축된 영상신호를 전송할 수 있게 되었다. 이와같은 방송환경에서는 채널당 제한된 대역폭 범위내에서 동시에 전송되는 영상 신호에 대역폭을 효과적으로 분배하는 방법이 필요하게 된다.

대표적으로 영상에 대역폭을 균등하게 분배하여 서로 독립적으로 일정한 부호화율에 의해서 부호화되는 독립적 부호화율 할당방법[2]을 생각할 수 있다. 이러한 독립적 방법은 영상특성에 따라 화질이 균등하게 분배되지 못하고, 각 영상내에서도 화면의 변화에 따라 화질이 일정하지 않는 단점이 있다.

이러한 문제점은 각 영상을 가변비트율로 부호화함으로써 완전히 해결될 수 있다[3,4,5,6]. 하지만, 가변비트율로 부호화될 경우에는 발생된 부호화율의 최대값이 채널당 고정된 대역폭을 넘지않아야만 한다. 따라서 최대 허용용량 보다 낮은 범위내에서 통계적 다중화 특성에 의해서 가변비트율 부호화가 가능하다.

채널당 허용용량을 최대로 사용하면서 앞의 독립적인 부호화율 할당 방법의 두가지 문제점을 극복해주는 연계된 부호화율 할당방법을 생각할 수 있다[5,6]. 연계된 부호화율 할당방법은 고정된 전체 대역

† 종신회원, 기술신용보증기금 기술평가센터 차장

폭에 대하여 각 영상 사이의 특성에 따라 부호화율을 조절하여 영상 사이의 왜곡이 균등하게 분배되도록 해준다. 이와 같이 함으로써 각 영상은 독립적 부호화율 할당방법에서의 일정비트율 특성에서 균일된 화질을 제공해주는 가변비트율 특성으로 바뀌게 된다. 물론 채널당 전송되는 신호의 갯수가 증가될수록 더욱더 가변비트율 특성이 나타나게 된다.

앞에서는 단일 계층에 대한 연계된 부호화율 할당 방법에 대하여 설명하였다. 단일계층의 프로그램 뿐만아니라 계층적 프로그램 전송 상황에서도 위에서 언급한 것처럼 부호화율 제어방법이 필요하게된다. 특히 방송환경에서는 공간방향 해상도가 서로 다른 영상을 전송해주므로써 호환성을 충족시키는 공간방향 계층형 부호화기법이 대두된다. 이러한 목적을 위해서MPEG-2에서는 공간 계층부호화방식[1]이 제시되었다. 이러한 공간계층 부호화방식은 호환성 뿐만아니라 채널오류에 대한 오류은닉의 특성이 있다. 공간계층적 부호화에서는 각 영상이 두가지 서로 다른 해상도를 갖는 비트열을 만든다. 저해상도 영상은 상위계층에 관계없이 부호화되지만 고해상도 영상은 하위계층에서 부호화된 화면과 상위계층에서 이전에 부호화된 화면들을 사용하여 부호화된다. 다수의 영상신호원들이 공간계층 부호화에 의해서 다중화되는 구성도를 그림 1에 나타낸다. 계층적 부호화구조에서는 단일 계층과는 달리 계층간 서로 연관된 특성으로 말미암아 부호화율 제어방법이 복잡해진다.

하위계층에 할당된 대역폭은 하위계층의 부호화 성능에 직접적으로 영향을 미치고, 또한 상위계층의 부호화성능에 간접적으로 영향을 미친다. 그러므로, 두 계층에 할당된 대역폭이 제한될 때, 두 계층의 성능을 고려하여 각 계층의 대역폭을 할당해 주어야 한다.
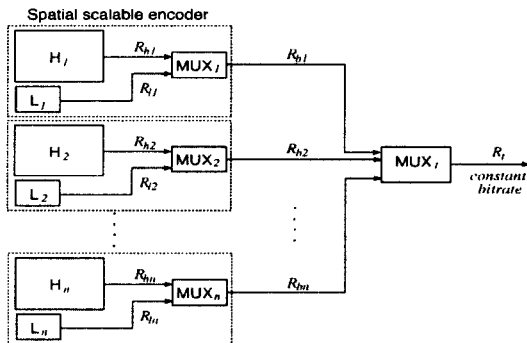
그림 1. 다수의 MPEG-2 공간계층형 부호화 시스템의 구성도

본 논문에서는 같은 해상도의 영상 사이에서 균등한 왜곡을 유지시키고, 각 영상내의 계층 사이에는 일정한 왜곡의 비율을 유지시킨다. 이로인해 각 영상의 계층내에서 일정한 화질을 유지시켜줄 수 있다.

2. 공간계층 부호화에서 부호화율-왜곡 관계

본 장에서는 기존에 제시된 부호화율과 왜곡의 관계를 살펴보고, 두계층을 갖는 MPEG-2 공간계층 부호화에서 부호화율과 왜곡의 관계를 조사한다.

2.1 기존의 부호화율과 왜곡의 관계 모델

비기억이고 평균이 영인 Gaussian 신호에 대하여 부호화율과 왜곡(원 화소와 재생화소 사이의 제곱오차의 평균)은 다음식과 같이 관계된다[12,13].

$$D = \sigma^2 \cdot 2^{-2R} \tag{1}$$

$$\log D = \log \sigma^2 - 2 \log 2 \cdot R \tag{2}$$

여기서 D는 왜곡(MSE), R은 부호화율(화소당 비트수)이고, σ^2는 신호의 분산값이다. MPEG 부호화 시스템에 대한 부호화율 제어방법을 위해서 일부논문[7,8,9,11]에서 위식(1)의 부호화율과 왜곡의 관계식을 이용하고 있고, 일부논문[10]에서는 식(2)의 R과 $\log D$의 선형관계 대신에 $\log R$과 $\log D$의 선형관계를 이용하고 있다.

2.2 MPEG-2 공간계층 부호화에서 부호화율과 왜곡의 관계 모델

계층간 연관성이 있는 공간계층적 부호화구조에서는 하위계층은 자신에게 할당된 부호화율에 따라 왜곡이 관계되지만 상위계층은 공간계층적 부호화의 특성에 근거하여, 상위계층에 할당된 부호화율 뿐만아니라 하위계층에 할당된 부호화율에 따라 왜곡이 관계된다[14].

컴퓨터 모의실험을 통하여 MPEG-2에서 제시된 spatial scalable 부호화에서 각 계층의 부호화율과 왜곡의 관계를 조사한다. 네가지 종류, "Flower Garden", "Mobile & Calendar", "Football", "Popple"

실험영상이 사용되며, 고해상도는 704 화소수×480 주사선수의 30Hz 격행규격 (interlaced format)의 명도성분과 352 화소수 ×240 주사선수의 30Hz 격행규격의 색차성분으로 구성되고, 저해상도는 고해상도로 부터 하향변환된 것으로서, 352 화소수 ×240 주사선수의 30Hz 순행규격 (progressive format)의 명도성분과 176 화소수 ×120 주사선수의 30Hz 순행규격의 색차성분으로 구성된다. 각 계층은 Test Model 5[2]에 근거되어 부호화되고, 한 GOP (Group of Pictures)내에는 B-화면이 없는15화면으로 구성된다. 하위계층에 대해서, 부호화율은 1.0Mb/s~3.8 Mb/s 범위내에서 변화되고, 각 부호화율에 대하여 화소당 왜곡을 측정한다. 그림 2는 하위계층에 대하여 부호화율 변화에 따라 4 GOP에 걸쳐 측정된 왜곡(원 화소와 재생화소 사이의 제곱오차의 평균)을 평균하여 나타낸다. 또한, 부호화율과 왜곡의 사이를 최소자승 근사화 Fitting 알고리즘에 의해 근사화시킨 선을 나타낸다. 두가지 종류의 부호화 화면에 대한 부호화율-왜곡의 관계는 식(1)과 유사한 다음식처럼 근사화된다.
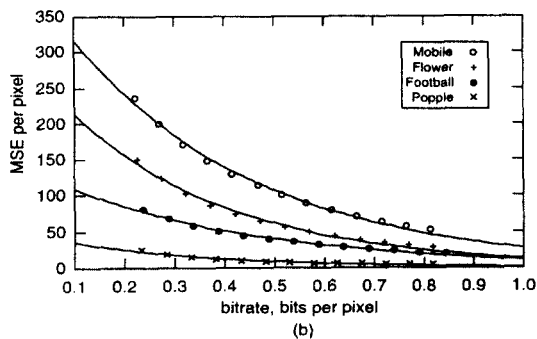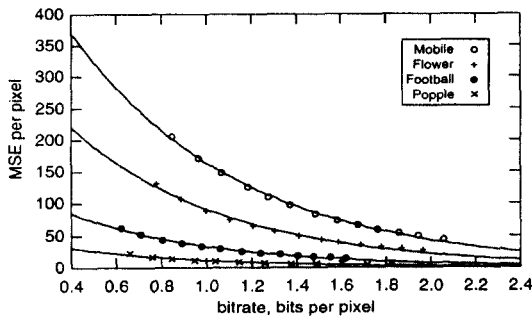
그림 2. 하위계층 부호화율 변화에 따라 관측된 왜곡-부호화율 관계 (부호화율 범위 : 1.0Mb/s~3.8Mb/s), (a) I-화면, (b) P-화면

$$D_l = 10^{m_l - n_l R_l} \tag{3}$$

$$\log D_l = m_l - n_l R_l \tag{4}$$

여기서, m_l은 식(1)에서처럼 입력영상에 의존되고, n_l은 표 1에서처럼 입력영상에는 거의 의존되지 않는 상수이다. 그러나, n_l은 Gaussian 신호에 대한 식(1)의 $n_l = 0.606 = 2\ \log 2$과는 차이를 보인다. I-화면인 경우에는 Gaussian 신호에서와 비슷한 값이지만 P-화면인 경우에는 2배정도 더 큰 값을 가진다. 이것은 I-화면과 P-화면에 사용된 양자화기가 서로 다르고, 양자화된 DCT계수의 가변길이 부호화에 기인된다.

상위계층의 왜곡은 상위계층에 할당된 부호화율 뿐만아니라 하위계층에 할당된 부호화율에 의존하게 된다. 하위계층의 부호화율이 그림 2의 경우와 마찬가지로 변화될 때, 각 하위계층의 고정된 부호화율 상황에 대하여 상위계층의 부호화율을 3.0Mb/s~5.8Mb/s. 범위에서 변화시킨다. 그림 3은 하위계층에서 할당된 부호화율이 변화함에 따라서, 상위계층의 부호화율에 따른 왜곡의 관계를 나타낸다. 상위계층의 왜곡은 하위계층에 할당된 각각의 부호화율 상황에서 상위계층에 할당된 부호화율에 따른 다음의 관계로 근사화된다.

$$D_h = 10^{m_h - n_h R_h} \tag{5}$$

$$\log D_h = m_h - n_h R_h \tag{6}$$

여기서, n_h는 n_l과 마찬가지로 거의 영상에 의존되지 않는 일정한 상수이고, m_h는 그림3에서 보여진 것처럼 하위계층에 할당된 부호화율에 의존됨을 알 수 있다. 표 2-5는 Football, Mobile영상의 부호화화면 종류에 대한 n_h, m_h를 보인다.

그림 4에서는 하위계층의 부호화율에 따른 식(5)의 m_h의 값을 나타낸 것이다. 또한 다음의 일차선형 관계식으로 근사화한 선을 나타낸다.

표 1. 실험영상에 대한 m_l과 n_l 비교

실험 영상	I-화면		P-화면	
	m_l	n_l	m_l	n_l
Mobil & Calendar	2.804	0.587	2.618	1.176
Flower Garden	2.597	0.633	2.463	1.347
Football	2.194	0.667	2.140	1.084
Popple	1.778	0.712	1.700	1.499

표 2. Football 영상의 I-화면에 대한 m_h, n_h 비교

	하위계층의 부호화율 (화소당 비트수)							
	0.625	0.807	0.976	1.146	1.315	1.469	1.615	1.764
m_h	1.882	1.834	1.784	1.736	1.694	1.661	1.634	1.613
n_h	0.961	0.935	0.898	0.860	0.827	0.804	0.790	0.782

표 3. Mobile & Calendar 영상의 I-화면에 대한 m_h, n_h 비교

	하위계층의 부호화율 (화소당 비트수)							
	0.845	1.060	1.268	1.470	1.660	1.836	2.031	2.234
m_h	2.486	2.458	2.429	2.401	2.374	2.356	2.338	2.324
n_h	0.814	0.808	0.805	0.797	0.789	0.785	0.783	0.782

표 4. Football 영상의 P-화면에 대한 m_h, n_h 비교

	하위계층의 부호화율 (화소당 비트수)							
	0.237	0.336	0.437	0.538	0.638	0.740	0.842	0.944
m_h	1.891	1.846	1.801	1.758	1.717	1.681	1.650	1.624
n_h	1.735	1.635	1.535	1.441	1.357	1.289	1.239	1.205

표 5. Mobile & Calendar 영상의 P-화면에 대한 m_h, n_h 비교

	하위계층의 부호화율 (화소당 비트수)							
	0.221	0.328	0.416	0.514	0.613	0.714	0.812	0.911
m_h	2.361	2.348	2.332	2.311	2.290	2.270	2.253	2.238
n_h	1.827	1.794	1.753	1.696	1.640	1.593	1.556	1.528

$$m_h = \alpha - \beta R_l \qquad (7)$$

여기서, α는 입력영상에 의존되고, β는 표 6에 나타낸 것처럼 상위계층의 부호화에 하위계층 영상이 이용되는 정도에 따라서 차이를 보인다. β는 하위계층의 이용정도가 크면 클수록 더욱더 큰 값을 가진다. 따라서, 상위계층에 대한 왜곡은 식(5),(6),(7)로부터 다음식처럼 하위계층과 상위계층에 할당된 부호화율의 함수가된다.

$$D_h = 10^{\alpha - \beta R_l - n_h R_h} \qquad (8)$$

$$\log D_h = \alpha - \beta R_l - n_h R_h \qquad (9)$$

표 6. 실험영상에 대한 α, β 비교

실험 영상	I-화면		P-화면	
	α	β	α	β
Mobil & Calendar	2.582	0.120	2.406	0.185
Flower Garden	2.450	0.209	2.278	0.467
Football	2.024	0.241	1.972	0.382
Popple	1.671	0.056	1.730	0.095

3. 제안된 부호화율 할당 방법

전체 부호화율이 제한된 경우에 대하여, 같은 해상도의 서로다른 영상 사이에서 왜곡을 균등하게 분배시키고 영상내의 계층 사이의 왜곡 비율을 일정하게 유지시키는 부호화율을 찾는다. N개의 영상에 할당된 부호화율 R_t가 일정한 상황하에서,

$$R_t = \sum_{j=1}^{N} R_{bj} = \sum_{j=1}^{N} (R_{lj} + R_{hj}) \qquad (10)$$

다음의 요구사항이 설정된다.

$$a_j = \frac{D_{hj}}{D_{lj}}, \quad 1 \le j \le N \qquad (11)$$

$$D_{lj} = D_{li}, \quad 1 \le j \ne i \le N \qquad (12)$$

$$D_{hj} = D_{hi}, \quad 1 \le j \ne i \le N \qquad (13)$$

여기서, R_{bj}는 j번째 영상의 두 계층에 할당된 부호화율로서, 하위계층에 할당되는 부호화율 R_{lj}와 상위
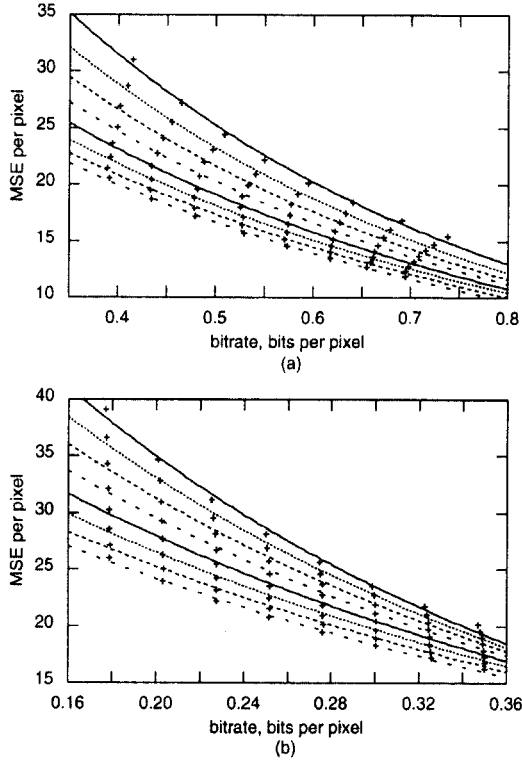
그림 3. Football 영상에 대하여 하위계층 부호화율 변화에 따른 상위계층의 왜곡과 부호화율의 관계, 상위계층 부호화율의 범위 : 3.0Mb/s ~ 5.8Mb/s, (a) I-화면, (b) P-화면 (하위계층 부호화율 : 1.0Mb/s (가장 상위선)~3.8Mb/s (가장 하위선))

그림 4. 하위계층의 부호화율 변화에 따른 m_h, (a) I-화면, (b) P-화면 (●: Mobile & Calendar, ○: Flower Garden, +: Football, ×: Popple)

계층에 할당되는 부호화율 R_{hj}의 합이고, D_{lj}와 D_{hj}는 각각 j번째 영상의 하위계층과 상위계층의 왜곡이다. 그리고, a_j는 사용자 우선순위 변수로서 일정한 상수이다.

식(11),(12),(13)의 요구사항에서, 먼저 각 영상내에서 식(11)의 요구사항을 만족하는 계층간 부호화율을 찾는다. 그리고나서, 식(12),(13)의 요구사항을 만족하는 각 영상의 부호화율을 찾는다.

j번째 영상에 대하여 일정한 부호화율 $R_{bj} = R_{lj} + R_{hj}$ 이 주어질 때, 모델식(3),(8)을 식(11)에 대입하여 정리하면, 다음과 같은 두 계층의 부호화율을 얻을 수 있다.

$$R_{lj} = \frac{n_{hj}R_{bj} + (m_{lj} - \alpha_j) + \log a_j}{n_{lj} + n_{hj} - \beta_j} \tag{14}$$

$$R_{hj} = \frac{n_{lj}R_{bj} - (m_{lj} - \alpha_j) - \log a_j}{n_{lj} + n_{hj} - \beta_j} \tag{15}$$

여기서, m_{lj}, n_{lj}는 j번째 영상의 하위계층에 대한 부호화율-왜곡의 모델 변수이고, α_j, n_{hj}, β_j는 j번째 영상의 상위계층에 대한 부호화율-왜곡의 모델 변수이다.

다음은 일정한 전체 부호화율 R_t가 주어질 때, j번째 영상의 두계층에 할당되는 부호화율 R_{bj}을 찾는다. 식(14)를 하위계층 모델식(3)에 대입하여 정리하면 다음식이 얻어진다.

$$D_{lj} = 10^{A_j R_{bj} + B_j} \tag{16}$$

여기서

$$A_j = -\frac{n_{lj}n_{hj}}{n_{lj} + n_{hj} - \beta_j} \tag{17}$$

$$B_j = \frac{(n_{hj} - \beta_j)m_{lj} + n_{lj}(\alpha_j - \log a)}{n_{lj} + n_{hj} - \beta_j} \tag{18}$$

식(16)을 식(12)에 대입하므로서 다음식이 얻어진다.

$$10^{A_j R_{bj} + B_j} = 10^{A_i R_{bi} + B_i}, \quad 1 \le j \ne i \le N \tag{19}$$

위식(19)와 조건 식(10)으로 부터, j번째 영상에 할당되는 부호화율은 다음과 같이 얻어질 수 있다.

$$R_{bj} = \frac{R_t + \sum_{i=1}^{N} \frac{B_i - B_j}{A_i}}{A_j \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{A_i}} \tag{20}$$

여기서 R_t는 TM5에서처럼 각 화면의 부호화 종류에 따라 화면당 할당되는 부호화율이 계산되는 것으로서, N개 영상의 두 계층 화면들에 대하여 할당된 모든 부호화율의 합을 의미한다.

위식(16) - (20)은 식(14)를 하위계층 모델식(3)에 대입하여 유도된 것인데, 식(15)를 상위계층 모델식(8)에 대입하여 유도하면 마찬가지로 식(20)을 얻을 수 있다.

따라서, 일정한 부호화율 R_t가 주어질때, 두 계층 사이의 일정한 왜곡비율, 영상사이의 균등한 왜곡을 유지시키기 위하여 식(20)으로 부터 각 영상에 대한 부호화율 R_b를 얻고, 그리고나서, 식(14),(15)를 이용하여 각 영상내의 계층에 대한 부호화율 R_l, R_h를 얻는다.

그러나, 식(14),(15),(20)을 사용하기 위해서는 각 영상에 대한 부호화율-왜곡의 모델에서의 변수 n, m, α, β값을 알아야한다. 각 영상의 하위계층과 상위계층의 현재화면들이 각각 적어도 두번 이상 부호화되어야만 변수값을 알 수 있다. 이것은 계산의 복잡성이 증가되고 또한 화면 지연이 발생된다.

본 논문에서는 간단한 구현을 위해서 이전의 같은 부호화종류의 화면에서 부호화된 결과를 이용하여 현재 화면에 대한 변수값을 얻는다. 다음은 변수값을 예측하는 방법에 대하여 설명한다.

3.1 변수 m_l, α 예측

영상이 갑작스럽게 변화되지 않는한 이전화면과 현재화면의 특성은 상당히 유사할 것이다. 따라서, j번째 영상의 현재 k번째의 두 계층 화면에 대한 변수 $m_{lj}(k)$, $\alpha_j(k)$는 같은 부호화종류의 $(k\text{-}1)$번째 화면에서 얻어진 부호화율 $R_{lj}(k\text{-}1)$, $R_{hj}(k\text{-}1)$과 왜곡 $D_{lj}(k\text{-}1)$, $D_{hj}(k\text{-}1)$을 식 (4),(9)에 각각 대입하여 계산한 다음과 같은 $\hat{m}(k)$, $\hat{\alpha}(k)$으로 예측할 수 있다.

$$\hat{m}_{lj}(k) = \log D_{lj}(k-1) + \hat{n}_{lj}(k) R_{lj}(k-1) \tag{21}$$

$$\hat{\alpha}_j(k) = \log D_{hj}(k-1) + \hat{\beta}_j(k) R_{lj}(k-1) + \hat{n}_{hj}(k) R_{hj}(k-1) \tag{22}$$

여기서 $\hat{n}_{lj}(k)$, $\hat{n}_{hj}(k)$, $\hat{\beta}_j(k)$는 j번째 영상의 k번째 두 계층 화면에 대하여 다음절에서 설명하는 방법에 의해서 예측된 변수들이다.

3.2 변수 n_l, n_h, β 예측

j번째 영상의 두계층에 대한 시간방향 k번째 화면의 $n_{lj}(k)$, $n_{hj}(k)$, $\beta_j(k)$은 같은 부호화 종류의 $(k\text{-}2)$번째와 $(k\text{-}1)$번째 화면에 대한 두계층 왜곡의 비율 $D_{hj}(k\text{-}2) \,/\, D_{lj}(k\text{-}2)$, $D_{hj}(k\text{-}1) \,/\, D_{lj}(k\text{-}1)$로 부터 예측된다. j번째 영상의 두계층에 대한 시간방향 $(k\text{-}2)$번째와 $(k\text{-}1)$번째 화면에 대한 식(3),(8)의 부호화율과 왜곡의 관계에서 실제 변수값이 서로 동일하다고 가정하면, (즉, $m_{lj}(k\text{-}2) = m_{lj}(k\text{-}1)$, $\alpha_j(k\text{-}2) = \alpha_j(k\text{-}1)$, $n_{lj}(k\text{-}2) = n_{lj}(k\text{-}1)$, $n_{hj}(k\text{-}2) = n_{hj}(k\text{-}1)$, $\beta_j(k\text{-}2) = \beta_j(k\text{-}1)$), $(k\text{-}2)$번째와 $(k\text{-}1)$번째 두 계층 화면의 부호화율과 왜곡은 다음처럼 관계가 형성될 수 있다.

$$\log D_{lj}(k-1) = \log D_{lj}(k-2) + n_{lj}(k-1) R_{lj}(k-2) - n_{lj}(k-1) R_{lj}(k-1) \tag{23}$$

$$\log D_{hj}(k-1) = \log D_{hj}(k-2) + \beta_j(k-1) R_{lj}(k-2) + n_{lj}(k-1) R_{hj}(k-1) - \beta_j(k-1) R_{lj}(k-1) - n_{hj}(k-1) R_{hj}(k-1) \tag{24}$$

식(24)에 $R_{lj}(k\text{-}1) = R_{bj}(k\text{-}1) - R_{hj}(k\text{-}1)$을 대입하면 다음식으로 다시 쓰여진다.

$$\log D_{hj}(k-1) = \log D_{hj}(k-2) + \beta_j(k-1) R_{lj}(k-2) + n_{lj}(k-1) R_{hj}(k-1) - \beta_j(k-1) R_{bj}(k-1) - (n_{hj}(k-1) - \beta_j(k-1)) R_{hj}(k-1) \tag{25}$$

만일 $(k\text{-}1)$번째 화면에 대해 실제 부호화율-왜곡 모델변수들이 사용되어 식(14),(15)로 부터 두계층 화면의 부호화율, $R_{lj}(k\text{-}1)$, $R_{hj}(k\text{-}1)$이 계산되면, $(k\text{-}1)$번째 화면의 왜곡의 비율은 우리가 원하는 비율 a로 정확하게 유지시킬 수 있다. 그러나, 실제변수 대신에 이전에 예측된 변수 $\hat{n}_{lj}(k\text{-}1)$, $\hat{n}_{hj}(k\text{-}1)$, $\hat{\beta}_j(k\text{-}1)$가 사용되면, 원하는 왜곡의 비율을 정확하게

만족하지는 않는다. 이와 같이 예측된 변수 $\hat{n}_{lj}(k-1)$, $\hat{n}_{hj}(k-1)$, $\hat{\beta}_j(k-1)$가 사용될 때; 식(21),(22)로부터 예측된 $\hat{m}_{lj}(k-1)$, $\hat{\alpha}_j(k-1)$를 식(14),(15)에 대입하여 계산된 $R_{lj}(k-1)$, $R_{hj}(k-1)$을 식(23),(25)에 대입하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\log D_{lj}(k-1) = \log D_{lj}(k-2) + n_{lj}(k-1)R_{lj}(k-2)$$
$$-n_{lj}(k-1)\frac{\log D_{lj}(k-2)-\log D_{hj}(k-2)+\log a_j+\hat{n}_{hj}(k-1)R_{bj}(k-1)}{\hat{n}_{lj}(k-1)+\hat{n}_{hj}(k-1)-\hat{\beta}_j(k-1)}$$
$$-n_{lj}(k-1)\frac{\hat{n}_{lj}(k-1)R_{lj}(k-2)-\hat{n}_{hj}(k-1)R_{hj}(k-2)-\hat{\beta}_j(k-1)R_{lj}(k-2)}{\hat{n}_{lj}(k-1)+\hat{n}_{hj}(k-1)-\hat{\beta}_j(k-1)} \tag{26}$$

$$\log D_{hj}(k-1) = \log D_{hj}(k-2) + n_{hj}(k-1)R_{hj}(k-2)$$
$$+\beta_j(k-1)R_{lj}(k-2) - \beta_j(k-1)R_{bj}(k-1)$$
$$-(\hat{n}_{hj}(k-1)-\beta_j(k-1))\frac{\log D_{hj}(k-2)-\log D_{lj}(k-2)-\log a_j}{\hat{n}_{lj}(k-1)+\hat{n}_{hj}(k-1)-\hat{\beta}_j(k-1)}$$
$$-(n_{hj}(k-1)-\beta_j(k-1))\frac{(\hat{n}_{hj}(k-1)-\hat{\beta}_j(k-1))R_{bj}(k-1)+\hat{n}_{lj}(k-1)R_{lj}(k-2)}{\hat{n}_{lj}(k-1)+\hat{n}_{hj}(k-1)-\hat{\beta}_j(k-1)}$$
$$-(n_{hj}(k-1)-\beta_j(k-1))\frac{\hat{n}_{hj}(k-1)R_{hj}(k-2)+\hat{\beta}_j(k-1)R_{lj}(k-2)}{\hat{n}_{lj}(k-1)+\hat{n}_{hj}(k-1)-\hat{\beta}_j(k-1)} \tag{27}$$

위 식(26),(27)에 대하여 두 계층에 할당된 부호화율이 화면변화에 관계없이 일정하다는 조건이 추가되면, 즉, $R_{bj}(k-1)=R_{bj}(k-2)=R_{lj}(k-2)+R_{hj}(k-2)$, 다음의 관계식을 얻을 수 있다.

$$D_{rj}(k-1) = a_j^{C_j(k-1)} \cdot D_{rj}(k-1)^{E_j(k-1)} \tag{28}$$

여기서

$$D_{rj}(k-1) \equiv \frac{D_{hj}(k-1)}{D_{lj}(k-1)} \tag{29}$$

$$C_j(k-1) \equiv \frac{F_j(k-1)}{\hat{F}_j(k-1)}$$
$$\equiv \frac{n_{lj}(k-1)+n_{hj}(k-1)-\beta_j(k-1)}{\hat{n}_{lj}(k-1)+\hat{n}_{hj}(k-1)-\hat{\beta}_j(k-1)} \tag{30}$$

$$E_j(k-1) \equiv \frac{\hat{F}_j(k-1)-F_j(k-1)}{\hat{F}_j(k-1)}$$
$$\equiv 1-\frac{n_{lj}(k-1)+n_{hj}(k-1)-\beta_j(k-1)}{\hat{n}_{lj}(k-1)+\hat{n}_{hj}(k-1)-\hat{\beta}_j(k-1)} \tag{31}$$

두 계층에 할당된 부호화율이 화면변화에 관계없이 같은 상황에서, $(k-2)$번째와 $(k-1)$번째 화면에서의 계층간 왜곡의 비율 $D_{rj}(k-2)$, $D_{rj}(k-1)$을 얻으면, $(k-1)$번째 화면의 세가지 실제변수에 대한 $F_j(k-1)$과 이전에 예측된 변수에 대한 $F_j(k-1)$의 관계는 식(28)로부터 다음과 같다.

$$F_j(k-1) = \hat{F}_j(k-1)\frac{\log D_{rj}(k-1)-\log D_{rj}(k-2)}{\log a_j - \log D_{rj}(k-2)} \tag{32}$$

따라서, 만약 k번째 화면의 부호화율 왜곡의 특성이 $(k-2)$번째와 $(k-1)$번째 화면과 같으면 위식(32)에서 얻어진 $F_j(k-1)$을 $F_j(k)$의 예측값으로 사용하면, k번째 화면에서 원하는 a의 왜곡의 비율을 얻을 수 있다. 그러나, 식(32)에 의해서는 세가지 변수 n_{lj}, n_{hj}, β_j의 각각의 값을 알 수 없다. 하지만, 표 1-5에서처럼 실제 n_l, n_h은 영상에 따라 거의 의존하지 않는 일정한 상수이므로, 간단하게 다음처럼 일정한 상수값으로 선택한다.

$$\hat{n}_{lj}(k) = \bar{n}_l \tag{33}$$

$$\hat{n}_{hj}(k) = \bar{n}_h \tag{34}$$

여기서 $\bar{n}_l$, $\bar{n}_h$는 표 1-5로부터 평균된 값을 사용한다. $\beta_j(k)$는 식(32)와 식(33),(34)로부터 다음의 $\beta_j(k)$으로 예측된다.

$$\hat{\beta}_j(k) = \bar{n}_l + \bar{n}_h - (\bar{n}_l + \bar{n}_h - \hat{\beta}_j(k-1))$$
$$\frac{\log D_{rj}(k-1)-\log D_{rj}(k-2)}{\log a_j - \log D_{rj}(k-2)} \tag{35}$$

위식(35)는 $(k-2)$, $(k-1)$, k화면의 부호화율과 왜곡의 특성이 같은 경우에 대한 식이므로, 실제 적용에 있어서는 이웃한 화면사이에서 국부적인 화면의 변화에 민감한 영향을 배제해야 한다. 따라서, 갑작스러운 화면변화가 일어난 이후 화면에 대해서만 식(35)이 적용되는데, j번째 영상의 $(k-2)$번째 화면에 대하여 다음의 식이 만족되면, 갑작스러운 변화 화면으로 간주된다.

$$| a_j - D_{rj}(k-2) | > T_r \tag{36}$$

여기서 T_r은 일정한 상수로서, 본 논문에서는 국부적인 화면의 변화를 고려하여 충분하게 큰 값인 0.2가 사용된다. 식(36)이 만족되지 않으면, 이전 (k-1)번째 화면에서 예측된 변수가 그대로 사용된다. 즉, $\beta_j(k) = \beta_j(k-1)$.

위의 사항을 요약하면, 갑작스러운 변화가 일어난 바로 다음의 (k-2)화면과 (k-1)화면에 대한 두 계층 왜곡의 비율로 부터 k번째 화면에 대한 $\beta(k)$의 예측값 $\beta(k)$를 얻는다. 이때 (k-1)화면의 두 계층에 대한 부호화율 할당시에 두 계층의 부호화율의 합은 (k-2)화면과 같게 놓는다. 그리고, $\hat{n}_l$, $\hat{n}_h$는 항상 상수로 놓여진다.

4. 실험 결과

모의실험을 바탕으로 기존의 독립적인 부호화율 할당방법과 제안된 부호화율 할당방법에 대하여 영상 사이의 왜곡, 계층간의 왜곡의 성능을 비교한다. 모의 실험을 위한 영상의 상/하위계층의 해상도는 그림 2,3에서와 같고, 부호화되는 GOP는 B-화면이 없는 15화면으로 구성된다. 각 부호화율 할당방법의 성능은 두가지 N (한 채널당 전송되는 영상 갯수)에 대하여 살펴본다. N=2에 대해서, 전체 부호화율은 R_t=12Mb/s이고, 입력영상은 "Football", "Mobile & Calendar" 각각 90화면이고, N=4에 대해서, 전체 부호화율은 R_t = 24Mb/s이고, 입력영상은 "Football", "Mobile & Calendar", "Flower Garden", "Popple" 각각 90화면이다. 기존의 독립적 부호화율 할당 방법은 영상 사이와 계층 사이에서 서로 관련이 없이 서로 독립적으로 해상도 크기의 비율에 따라서 각각에 대한 부호화율이 할당된다. 본 실험에서와 같이 고해상도의 크기가 저해상도 크기의 4배인 경우에, 독립적 부호화율 할당방법에서는 각 영상의 부호화율 R_b = 6Mb/s이고, 하위계층의 부호화율 R_l = 1.2Mb/s, 상위계층의 부호화율 R_h = 4.8Mb/s이다. 제안된 부호화율 할당방법에서 초기화면은 독립적 부호화율 할당방법과 동일하게 각 영상과 계층에 부호화율이 할당된다.

그림 5는 N=2일때, 독립적 부호화율 할당방법에 따른 각 영상의 두 계층에서 왜곡의 PSNR과 두 계층에서 발생된 비트량을 나타낸다. 영상의 두계층에서 발생한 부호화율(초당 비트수)의 합은 거의 일정하지만, 영상간 및 계층간 화면의 특성에 따라서, 영상간 뿐만아니라 계층간에서도 PSNR의 차이가 큼을 알 수 있다.
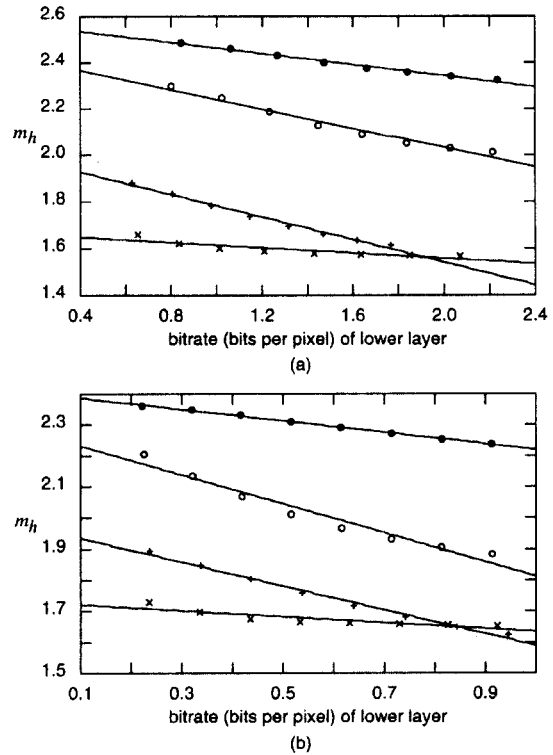
그림 5. 독립적 부호화율 배분방법 성능, 부호화율 12Mb/s, (a) PSNR, (b) 두계층에 발생된 비트량

그림 6은 N=2일때, 영상내 두 계층간 왜곡이 서로 같도록 (즉, a=1), 제안한 부호화율 할당방법에 따른 실험결과를 나타낸다. 영상의 특성에 따라서, 영상의 두계층에서 발생한 부호화율의 합이 서로 다르게 발생하지만 각 영상의 계층간 PSNR의 비율은 같게 유지되고, 영상간 같은 해상도 사이에서 PSNR이 균등하게 됨을 보인다. 초기 화면은 독립적인 부호화할당방법으로 부호화율이 할당되었기 때문에 요구사항에 큰 차이를 보이나, 적은 화면간격내에서 원하는 요구사항이 만족됨을 알 수 있다.

그림 7은 N=2일때, 각 영상에서 상위 계층이 하위계층에 비해서 2dB정도 PSNR이 크게 되도록, (즉, $a=10^{0.2}$), 제안한 부호화율 할당방법에 따른 실험결과를 나타낸다. 영상내 계층간 왜곡의 비율은 약2dB로 거의 일정하게 유지되고, 영상간 같은 계층의
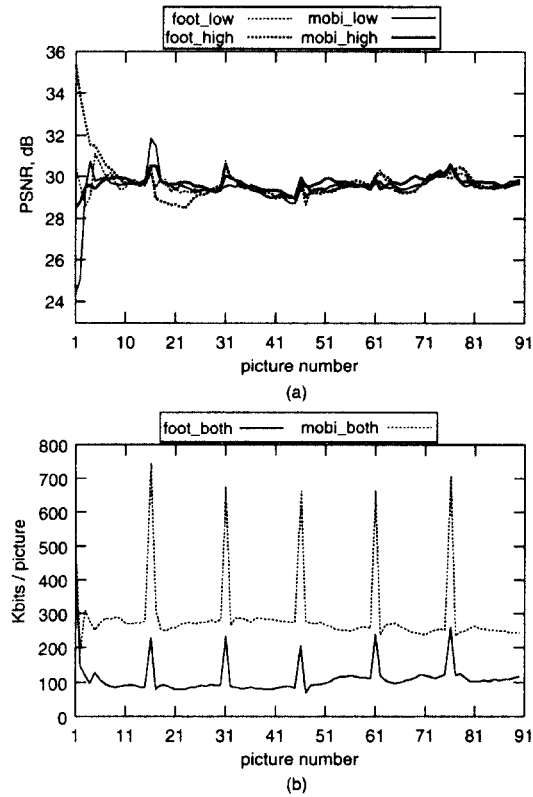
그림 6. 제안된 부호화율 배분방법의 성능, α=1, 전체 부호화율 12Mb/s, (a) PSNR, (b) 두계층에 발생된 비트량

그림 7. 제안된 부호화율 배분방법의 성능, $\alpha=10^{-0.2}$, 전체 부호화율 12Mb/s, (a) PSNR, (b) 두계층에 발생된 비트량

PSNR은 거의 비슷하게 유지됨을 알 수 있다.

표 7은 N=4에 대하여, 독립적인 부호화율 할당방법과 두가지 사용자 요구조건이 만족되도록 제안한 부호화율 할당방법에 의한 부호화결과후의 영상간 계층들에 대한 왜곡의 평균값을 나타낸다. 독립적인 할당방법은 두 계층내의 왜곡의 평균값이 영상에 따라 큰 차이를 보이나, 제안된 부호화율 할당방법은 모든 영상에서 두가지 사용자 요구조건을 충분히 만족시켜줌을 알 수 있다.

5. 결 론

공간계층적으로 부호화된 다수의 영상이 하나의 채널로 동시에 전송될 때, 제한된 채널의 대역폭을 위해서는 영상 사이와 각 영상내의 계층 사이에 부호화율을 효과적으로 분배하는 방법이 필요하다. 본 논문에서는 MPEG-2 공간계층형 부호화구조에서 부호화율-왜곡 모델이 계층간 상관관계가 있음을 보이고, 영상간 및 계층간 효율적인 부호화율 할당을 위해서 영상간 및 계층간 근사화된 부호화율-왜곡 모

표 7. 부호화율 배분방법에 따른 계층간 평균왜곡의 비교, (N=4, 전체부호화율 24Mb/s)

실험영상	기 존 방 법		제 안 방 법 (α=1)		제 안 방 법 ($\alpha=10^{-0.2}$)	
	D_l	D_h	D_l	D_h	D_l	D_h
Mobile	260.46	90.78	52.89	50.39	77.54	46.77
Flower	169.93	55.23	53.30	51.90	78.02	47.92
Football	95.78	30.37	52.85	52.26	77.35	47.91
Popple	20.74	21.25	52.91	51.28	76.70	49.38

델변수를 사용하여 간단한 구현으로 왜곡비율에 대한 사용자 요구조건을 충분히 만족시켜줄 수 있는 대역할당방법을 제안한다.

참 고 문 헌

[1] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, "MPEG-2 International Standard Part2 : Video", *MPEG 94/NO802*, Nov. 1994.

[2] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, "MPEG-2 Test Model 5", *MPEG 93/457*, Mar. 1993.

[3] B. Maglaris, D. Anastassiou, P. Sen, G. Karlsson, and J. D. Robbins, "Performance Models of Statistical Multiplexing in Packet Video Communications", *IEEE Trans. Comm.*, Vol. 36, No.7, pp. 834-844, Jul. 1988.

[4] W. Verbiest and L. Pinnoo, "A Look at the MPEG Video Codec for Asynchronous Transfer Mode Networks", *IEEE J. Sel. Areas in Comm.*, Vol.7, No.5, pp.761-770, Jun. 1989.

[5] G. Keesman and D. Elias, "Analysis of Joint Bit-Rate Control in Multi-Program Image coding", *Proceeding of Visual Commun. Image Processing '94*,, Vol. 2308, pp. 1906-1917, Sep. 1994.

[6] L. Wang and A. Vincent, "Bit Allocation for Joint Coding of Multiple Video Programs", *Proceeding of Visual Commun. Image Processing '97*, Vol. 3024, pp. 149-158, Feb. 1997.

[7] Y. Shoham and A. Gersho, "Efficient Bit Allocation for an Arbitrary Set of Quantizers", *IEEE Trans. Acoustics, Speech, Signal Process.*, Vol.36, No.9, Sep. 1983.

[8] K. Ramchandran, A. Ortega, and M. Vetterli, "Bit Allocation for Dependent Quantization with Applications to Multiresolution and MPEG Video Coders", *IEEE Trans. Image Process.*, Vol.3, No.5, Sep. 1994.

[9] A. K. Al-Asmari, "Optimum Bit Rate Pyramid Coding with Low Computational and Memory Requirements", *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Techno.*, Vol.5, Jun. 1995.

[10] S. Sakazawa and Y. Takishima, "Coding Control Scheme for a Multi-encoder System", *Proc. Int. Workshop on Packet Video*, Mar. 1996.

[11] J. Katto and M. Ohta, "Mathematical Analysis of MPEG Compression Capability and Its Application to Rate Control", *Proc. ICIP*, Vol. 2, Oct. 1995.

[12] N. S. Jayant and P. Noll, "Digital Coding of Waveforms: Principles and Applications to Speech and Video", *Prentice-Hall*, pp. 638-649, 1984.

[13] T. Berger, "Rate Distortion Theory: a Mathematical Basis for Data Compression", Prentice-Hall, pp. 98-102, 1971.

[14] Soon-kak Kwon and Jae-kyoon Kim, Adaptive Bitrate Allocation in Spatial Scalable Video Coding of Fixed Total Bitrate, *IEICE Trans. on Fundamental of Electronics, Comm. and Computer Sciences*, May 1998.

권 순 각

1990년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학사)

1992년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업 (공학석사)

1998년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사)

1998년 3월 ~ 1998년 8월 전자통신연구원 선임연구원

1998년 9월 ~ 현재 기술신용보증기금 기술평가센터 차장

관심분야 : 영상부호화 및 전송기법, 영상신호처리